

## اثر لجن فاضلاب شهری تصفیه شده بر خصوصیات شیمیایی و عناصر غذایی ضروری خاک و خصوصیات فیزیولوژیکی نهال زیتون

محبوبه زارع<sup>1\*</sup>، مصطفی چرم<sup>2</sup>، نوراله معلمی<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> نویسنده مسئول: دانشجوی کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز (mz.eng.zare@gmail.com)

<sup>2</sup> - دانشیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

<sup>3</sup> - استاد گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ پذیرش: 1392/08/05

تاریخ دریافت: 1390/12/15

### چکیده

رها کردن فاضلاب‌ها در محیط، اگر چه تهدیدی جدی برای محیط زیست و سلامت بشر تلقی می‌گردد؛ ولی استفاده از آن در کشاورزی به صورت یک کود سرشار از مواد آلی و عناصر غذایی مهم و مؤثر در رشد گیاه توصیه می‌شود. در این مطالعه اثرات استفاده از لجن فاضلاب شهری تصفیه شده به صورت یک کود آلی ارزان قیمت، منبعی تجدیدپذیر در طبیعت و یک پسماند شهری بر خصوصیات شیمیایی و عناصر غذایی ضروری خاک و خصوصیات فیزیولوژیکی نهال زیتون به تنهایی و در مقایسه با کود شیمیایی و اثر توأم آنها مورد مطالعه قرار گرفت. این پژوهش به مدت 6 ماه در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز با 12 تیمار و 3 تکرار انجام شد. بدین منظور اثر لجن، کود شیمیایی کامل و اثر توأم آنها بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک مانند شوری، قلیائیت، میزان ماده آلی و عناصر غذایی پرمصرف خاک و خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه زیتون بررسی گردید. نتایج نشان داد که اثر لجن فاضلاب بر تعداد شاخه‌های جدید، طول گیاه، وزن خشک ریشه و تعداد برگ‌های جدید گیاه زیتون معنی دار شد. لجن فاضلاب با افزایش ماده آلی خاک، موجب بهبود خصوصیات شیمیایی خاک گردید و غلظت عناصر غذایی خاک را افزایش داد. تیمار 150 تن بر هکتار لجن فاضلاب بدون کود شیمیایی دارای بهترین اثر بر خصوصیات گیاه زیتون و عناصر غذایی خاک بود. با استفاده از لجن فاضلاب، افزایش تعداد برگ، میزان سطح برگ و مقدار ماده آلی خاک حدود 2 برابر تیمار شاهد و میزان کاهش pH حدود 0/4 واحد محاسبه شد و تاثیر لجن فاضلاب بر مقدار پتاسیم خاک‌ها نسبت به فسفر و نیتروژن کمتر بود.

**کلید واژه‌ها:** لجن فاضلاب، خصوصیات شیمیایی خاک، عناصر غذایی ضروری، زیتون.

### مقدمه

تعادل و رعایت تناسب میان همه عناصر از اهمیت زیادی برخوردار است. با افزودن عناصر در حالت عدم تعادل تغذیه‌ای، نه تنها افزایش عملکرد رخ نمی‌دهد، بلکه اختلالاتی نیز در رشد گیاه و نهایتاً افت عملکرد به وجود می‌آید. در حالی که افزایش مصرف کودهای شیمیایی

رشد گیاه تابع متغیرهای زیادی است. تغذیه صحیح گیاه یکی از عوامل مهم در بهبود کمی و کیفی محصول به شمار می‌آید. در فرایند تغذیه نه تنها هر عنصر باید به اندازه کافی در دسترس گیاه قرار گیرد، بلکه ایجاد

زارع و همکاران: اثر لجن فاضلاب شهری تصفیه شده بر خصوصیات شیمیایی...

بهبود ساختمان خاک و افزایش نفوذپذیری می گردد. افزایش لجن فاضلاب با بهبود و پایداری ساختمان خاک و تغییر توزیع اندازه منافذ خاک باعث افزایش نفوذ آب به خاک و هدایت هیدرولیکی می گردد (لاگوروف و همکاران<sup>2</sup>، 1997؛ آقایی فروشانی، 1384).

لجن فاضلاب علاوه بر تاثیر بر خصوصیات فیزیکی خاک، بر خواص شیمیایی خاک از قبیل pH، مواد آلی، هدایت الکتریکی و غلظت عناصر غذایی پر مصرف هم اثر می گذارد.

کاربرد لجن فاضلاب ممکن است باعث تغییر pH خاک شود. میزان تغییر pH خاک بستگی به خصوصیات خاک از جمله بافت و ظرفیت بافری آن دارد. بسیاری از محققان گزارش کرده اند که با افزودن لجن فاضلاب به خاک، pH خاک کاهش می یابد. آن ها دلیل این کاهش را تجزیه مواد آلی موجود در لجن فاضلاب می دانند که منجر به تولید اسید کربنیک و اسیدهای آلی مثل اسید سیتریک، اسید مالیک و اسید پروپیونیک می شود. البته نیتروفیکاسیون، سولفوریکاسیون و اکسیداسیون مواد معدنی هم در این امر مؤثرند. نتیجه کاهش pH خاک، افزایش میزان حلالیت برخی از عناصر کمیاب می باشد و این عناصر بیشتر در دسترس گیاه قرار می گیرند (کلاپ و همکاران<sup>3</sup>، 1987).

لجن فاضلاب حاوی مقدار زیادی نمک است که باعث افزایش هدایت الکتریکی خاک (EC<sub>e</sub>) می گردد. جنکینس و همکاران<sup>4</sup> (1994) دریافتند که عملکرد ذرت خوشه ای آبیاری شده با فاضلاب 2/5 برابر و در مورد علوفه و سبزی 3 برابر بیشتر از محصول به دست آمده با آب چاه بوده است. آن ها گزارش دادند هدایت الکتریکی و اسیدیته خاک پس از چهار سال آبیاری با فاضلاب کاهش یافت (جنکینس و همکاران، 1994).

در سال های اخیر بسیار سریع بوده است؛ ولی افزایش عملکرد محصولات کشاورزی با روند مصرف کودهای شیمیایی متناسب نمی باشد. عدم مصرف کود به تناسب نیاز غذایی گیاه و عدم رعایت تعادل میان عناصر غذایی پر مصرف و کم مصرف از دلایل اصلی کاهش عملکرد است. از سوی دیگر استفاده از کودهای شیمیایی به تنهایی در دراز مدت باعث نامناسب شدن برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مطلوب برای رشد گیاه می شود. بنابراین برای افزایش عملکرد در واحد سطح، اهمیت کودهای آلی که مزایای زیادی در اصلاح خاک دارند را نباید نادیده گرفت. لجن فاضلاب محصول فرعی تصفیه خانه فاضلاب شهری با مقادیر بالایی از مواد آلی و عناصر غذایی است که برای افزایش تولید زیست توده خاک استفاده می شود. به دلیل تفاوت هایی که در اقلیم، پوشش گیاهی، شرایط اجتماعی و فرهنگی، تغییرات کیفی خاک و فاضلاب در بین نواحی مختلف و حتی دوره های زمانی مختلف وجود دارد، استفاده از رهنمودهای اجرایی برای سایر نواحی جهان درست نیست و در طولانی مدت سبب آسیب به منابع آب و خاک خواهد شد، بنابراین در این خصوص باید کارهای تحقیقاتی ویژه منطقه ای مورد توجه قرار گیرد (آنتولین و همکاران<sup>1</sup>، 2005).

لجن فاضلاب به طور قابل توجهی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک تاثیر دارد (افیونی و همکاران، 1377).

مواد آلی یکی از شاخص ترین ترکیباتی هستند که می توانند جهت اصلاح خصوصیات نامطلوب خاک استفاده شوند. لجن فاضلاب هم به عنوان یک کود آلی از این موضوع مستثنی نخواهد بود. در فاضلاب شهری مواد آلی بیشترین بخش مواد جامد فاضلاب را تشکیل می دهد. یکی از اثرات لجن فاضلاب، افزایش ماده آلی خاک است. وجود مواد آلی در لجن فاضلاب، سبب

2- Lagerwerff *et al.*

3- Clapp *et al.*

4- Genkins *et al.*

1- Antolin *et al.*

نیمه خشک مدیترانه‌ای در مدت 3 سال (1998-2001) بررسی کردند. کاربرد متوالی لجن pH را کاهش داد همچنین منجر به افزایش نیتروژن قابل دسترس و فلزات سنگین قابل استخراج توسط DTPA در خاک تیمار شده با لجن شد.

کلینگ و همکاران<sup>3</sup> (1977) لجن فاضلاب را در مقادیر 0، 3/75، 7/5، 15، 30 و 60 تن در هکتار در دو خاک لوم شنی و لوم سیلتی به کار بردند و رشد گیاه چاودار را بررسی کردند. نتایج نشان داد که عملکرد گیاه بعد از کاربرد لجن به طور مشخص افزایش یافت و در برخی موارد مقادیر 30 و 60 تن در هکتار لجن فاضلاب، عملکرد محصول را به خاطر مقادیر بالای فلزات موجود در لجن کاهش داد. بنابراین استفاده از لجن فاضلاب در زمین‌های کشاورزی باید به گونه‌ای باشد که بتواند عناصر مورد نیاز گیاه را فراهم کند و این امر بسته به ترکیب شیمیایی خاک و لجن فاضلاب مصرفی ممکن می‌گردد.

تحقیق لاگروورف و همکاران (1997) روی گیاه چاودار در خاک اصلاح شده با لجن هضم شده (10-0 درصد وزن خشک) نشان داد که با غلظت 10 درصد لجن، جوانه زنی و رشد گیاه کاهش یافت. افزایش pH خاک از 5/1 به 6/8 به وسیله آهک دهی، باعث افزایش عملکرد گیاه شد. دلیل آن می‌تواند افزایش pH و تشکیل کمپلکس مواد آلی با فلزات باشد که در نتیجه گیاه تا حدی از اثرات مضر این فلزات محافظت می‌شود. اگر چه افزایش لجن فاضلاب می‌تواند باعث افزایش عملکرد شود؛ ولی این امر تا مقادیر محدودی از افزایش لجن صادق است و در مقادیر بیش از حد، افزایش لجن باعث سمیت عناصر در گیاه و کاهش عملکرد می‌شود. تعیین این محدوده هم به شرایط مختلف خاک و گیاه بستگی دارد. مثلاً در شرایط خاک‌های آهکی که pH بالا دارند استفاده از مقادیر بیشتر لجن فاضلاب کاهش عملکرد ایجاد نمی‌کند.

نتایج پژوهش آقایی فروشانی (1384) نشان داد که افزودن 2 سطح 50 و 100 تن در هکتار لجن فاضلاب به خاک تحت کشت جو باعث افزایش معنی دار شوری، ماده آلی، نیتروژن، فسفر، کاتیون‌ها و آنیون‌های محلول به جز بیکربنات و کاهش معنی دار پتاس قابل جذب در خاک در مقایسه با تیمار شاهد شد.

با توجه به مطالعات سالک گیلانی و همکاران (1383) با وجود انتظار کاهش pH خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب، چون خاک مورد مطالعه یک خاک شدیداً آهکی با ظرفیت بافری بالا بود، بنابراین عدم کاهش معنی‌داری pH مشاهده گردید. کاربرد لجن فاضلاب همراه با افزایش مقدار دفعات کوددهی، به طور قابل توجه و معنی‌داری هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (EC<sub>e</sub>) را تا حدود 4 برابر تیمار شاهد افزایش داد. دلیل افزایش EC<sub>e</sub> وجود املاح موجود در لجن فاضلاب بوده است. تیمارهای کود لجن فاضلاب عموماً دارای EC<sub>e</sub> بیشتری نسبت به تیمار شاهد بوده اند. بیشترین سطح EC<sub>e</sub> در تیمارهایی که سه بار متوالی 100 تن در هکتار لجن فاضلاب دریافت کرده بودند مشاهده گردید.

عناصر غذایی موجود در مواد آلی به تدریج بر اساس شرایط موجود در اختیار گیاه قرار می‌گیرند. از طرف دیگر در اثر تجزیه مواد آلی و تولید اسیدهای آلی، برخی از مواد غذایی نامحلول موجود در خاک، محلول گشته و زودتر جذب گیاه می‌شود و رشد بیشتر گیاه را در بر دارد (لوگان و هاریسون<sup>1</sup>، 1995).

مشهدی<sup>2</sup> (1984) در نتایج تحقیق خود اظهار می‌دارد که اثر لجن فاضلاب در افزایش عملکرد بیش از کود شیمیایی می‌باشد. اضافه کردن لجن فاضلاب به خاک باعث کاهش مقاومت خاک در برابر نفوذ ریشه و افزایش نسبت ریشه به ساقه می‌شود.

آنتولین و همکاران (2005) اثرات لجن را در مقایسه با کودهای متداول در رشد و بازده گیاه جو تحت شرایط

3- Kelling *et al.*1- Logan and Harrison  
2 - Mashahdy

زارع و همکاران: اثر لجن فاضلاب شهری تصفیه شده بر خصوصیات شیمیایی...

اهمیت خاصی برخوردار شده است. استفاده از لجن فاضلاب در راستای نیل به اهداف کشاورزی پایدار در کشور ایران نیز مدتی است انجام می‌گیرد؛ اما استفاده غالب از این کود آلی در کشت سبزیجات، صیفی و کشت گیاهان یک ساله و زراعی صورت می‌پذیرد؛ در صورتی که در این گیاهان بخش مورد استفاده توسط انسان و حیوان شامل ریشه و اندام هوایی گیاه خصوصاً در سبزیجات، در تماس مستقیم با لجن فاضلاب قرار می‌گیرد و احتمال انتقال آلودگی از طریق لجن فاضلاب به زنجیره غذایی انسان و حیوان و احتمال ایجاد خطراتی بر سلامتی آن‌ها زیاد می‌باشد. هر چند که در استفاده از لجن فاضلاب در کشت گیاهان چند ساله چوبی یا گیاهان غیر مثمر احتمال این خطر بسیار پایین می‌آید؛ به همین دلیل این پژوهش با هدف بررسی اثر لجن فاضلاب شهری تصفیه شده و کود شیمیایی کامل بر برخی خصوصیات شیمیایی و عناصر غذایی پرمصرف در خاک و برخی خصوصیات فیزیولوژیکی نهال دو ساله زیتون از رقم دزفولی انجام شده است.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال 1390-1389، در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز اجرا گردید.

این پژوهش به منظور بررسی اثرات لجن فاضلاب در مقایسه با کاربرد کود شیمیایی بر رشد رویشی نهال زیتون 2 ساله (قلمه ریشه دار) رقم دزفولی و خصوصیات خاک، با 12 تیمار شامل لجن فاضلاب در 4 سطح (0، 150، 300 و 450 گرم در هر گلدان 8 کیلویی معادل 0، 50، 100 و 150 تن در هکتار) و کود شیمیایی کامل در 3 سطح، شامل (0، 5 و 10 گرم کود شیمیایی کامل (NPKS80%) در هر گلدان به علاوه 2 گرم کود اوره به عنوان کود سرک 3 ماه بعد از کاشت انجام شد. این پژوهش دارای 3 تکرار و 12 تیمار، در نتیجه 36 واحد آزمایشی و در هر واحد آزمایشی 2

اثرات لجن فاضلاب و کود حیوانی بر رشد درختان سیب و غلظت های عناصر غذایی در خاک آهکی به مدت 2 سال متوالی توسط سینگ و سینها<sup>1</sup> (2002) ارزیابی شد. لجن عملکرد میوه را به طور معنی داری در مقایسه با کود حیوانی افزایش داد. ارتفاع ساقه نیز در کاربرد لجن افزایش معنی داری داشت.

دانش (1370) اثر فاضلاب های تصفیه شده خانگی در عملکرد و کیفیت محصول چغندر قند و چغندر علوفه ای را بررسی کرد و نتیجه گرفت که پساب‌ها عمدتاً به علت دارا بودن عناصر غذایی مختلف مورد نیاز چغندر قند عملکرد ریشه وزن قسمت‌های هوایی و کل ماده تر گیاهی را افزایش می‌دهند. این افزایش در مقایسه با کاربرد کودهای شیمیایی قابل توجه و چشمگیر است ولی باعث کاهش عیار چغندر قند می‌شود.

لجن تصفیه خانه‌های فاضلاب، یک منبع با ارزش حاوی نیتروژن، فسفر و پتاسیم است که برای رشد گیاهان ضروری است. در مناطق خشک و نیمه خشک ایران به دلیل ضعیف بودن حاصلخیزی و پر هزینه بودن کودهای شیمیایی، کاربرد لجن به عنوان کودی ارزان قیمت، رشد گیاهان را بهبود می‌بخشد. آقایی فروشانی (1384) در پژوهشی که بر تأثیر نسبت‌های مختلف فاضلاب، آب آبیاری، کود شیمیایی و کود حیوانی بر خصوصیات زراعی عملکرد جو انجام داد، نتیجه گرفت که افزایش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در تیمارهای فاضلاب به دلیل تأمین ازت کل، مواد آلی خاک، فسفر، پتاس، منگنز، کلسیم و سایر عناصر میکرو می‌باشد.

با توجه به توصیه‌های وزارت کشاورزی مبنی بر مصرف کمتر کودهای شیمیایی، به منظور پیشگیری از آلودگی محیط زیست و همچنین با توجه به دلایل اقتصادی که کشاورزان را به مصرف بیشتر کودهای آلی ترغیب می‌نماید، بررسی اثر لجن فاضلاب بر خاک از

نهال به عنوان شاهد انتخاب و جهت آنالیزهای شیمیایی و اندازه‌گیری وزن تر و خشک ریشه، ساقه و برگ، میزان کلروفیل (به وسیله SPAD 502) و سطح برگ به آزمایشگاه منتقل شدند.

(8) آبیاری گلدان‌ها بر اساس ظرفیت زراعی خاک و با استفاده از آب تصفیه صورت گرفت. دلیل استفاده از آب تصفیه، شوری بالای اولیه خاک، اثرات سوء آبیاری به وسیله آب شور و احتمال آسیب به نهال‌ها می‌باشد. آبیاری گلدان‌ها با آب تصفیه با محاسبه رطوبت حد اشباع انجام شد.

(9) در طول کشت گیاه، خاک موجود در گلدان-ها چند بار به وسیله آب تصفیه آبشویی گردید و میزان هدایت الکتریکی زه‌آب گلدان‌ها کنترل شد تا شوری بالای خاک و همچنین شوری ناشی از افزودن لجن فاضلاب موجب خشک شدن یا آسیب به گیاه زیتون نگردد.

(10) پس از گذشت 6 ماه از کاشت نهال‌ها، ابتدا نمونه برداری از گیاهان برای انجام آزمایش‌های نهایی و اندازه‌گیری پارامترهای رشدی صورت گرفت.

(11) نمونه برداری از خاک گلدان‌ها به صورت جداگانه در پایان آزمایش انجام شد.

#### اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و حاصلخیزی خاک و لجن فاضلاب

در بررسی ویژگی‌های فیزیکی خاک‌ها، بافت خاک به روش هیدرومتری و رطوبت حد ظرفیت مزرعه خاک به روش محفظه فشار اندازه‌گیری شدند. از میان ویژگی‌های شیمیایی خاک، با توجه به هدف و نوع تحقیق، pH، هدایت الکتریکی با استفاده از EC سنج، فسفر قابل دسترس با استفاده از روش اولسن و با استفاده از روش رنگ‌سنجی، گنجایش تبادل کاتیونی از روش استات سدیم در  $pH = 7$ ، ماده آلی از روش اکسیداسیون تر، نیتروژن کل خاک بر اساس تیتراسیون رنگ‌سنجی به وسیله دستگاه کج‌لداال اندازه‌گیری

گلدان و در نهایت با 72 گلدان در قالب طرح فاکتوریل با پایه کاملاً تصادفی انجام شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها به وسیله نرم افزار SPSS نسخه شماره 15 و مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن انجام شد.

#### نحوه اجرای آزمایش

(1) در ابتدا نمونه‌ای از عمق 0-20 سانتی‌متری خاک مزرعه دانشکده کشاورزی تهیه گردید. خاک هوا خشک شده، به منظور مطالعات آزمایشگاهی از الک 2 میلی متری و استفاده جهت گلدان‌ها از الک 5 میلی متری عبور داده شد. برخی خصوصیات خاک مانند شوری و بافت خاک قبل از شروع آزمایش اندازه‌گیری شد؛ چون بافت خاک سنگین بود، ماسه رودخانه تهیه و به نسبت 1 کیلوگرم ماسه با 5 کیلوگرم خاک مخلوط گردید. بافت نهایی خاک سیلتی کلی لوم با 22/02 درصد رس، 50/31 درصد شن و 27/67 درصد سیلت تعیین گردید. برخی خصوصیات اندازه‌گیری شده خاک قبل از شروع آزمایش در جدول 1 آورده شده است.

(2) لجن فاضلاب شهری از تصفیه خانه غرب اهواز تهیه شده، کوبیده و الک گردید.

(3) نهال‌های زیتون 2 ساله رقم دزفولی به صورت تقریباً هم‌شکل هرس و آماده شدند.

(4) تیمارهای کود شیمیایی و لجن فاضلاب به همراه خاک در گلدان‌ها قرار داده شده و نهال‌های زیتون کاشته شدند.

(5) به دلیل شوری بالای خاک، پس از کاشت نهال‌ها میزان زیادی آب به منظور آبشویی خاک به گلدان‌ها اضافه شد.

(6) گلدان‌های 8 کیلویی بر اساس طرح فاکتوریل بر پایه کاملاً تصادفی چیده شدند. دوره کشت 6 ماه (از اول آذر ماه تا ابتدای خرداد) انتخاب شد تا اثر لجن بر خاک و گیاه کامل گردد.

(7) پارامترهای رویشی گیاه شامل ارتفاع (طول) نهال، تعداد برگ و تعداد شاخه‌های جانبی در ابتدا اندازه‌گیری شدند. با توجه به میانگین این پارامترها، سه

سطح برگ افزایش یافته است. تعداد برگ‌های افزایش یافته در تیمار 150 تن در هکتار لجن فاضلاب با 10 گرم کود شیمیایی دارای بیشترین میزان در افزایش تعداد برگ و بیش از 2 برابر شاهد بود. پالیویل و همکاران<sup>2</sup> (1998)، گزارش دادند که تعداد برگ با افزایش مقادیر فاضلاب افزایش می‌یابد. لجن فاضلاب عمدتاً به علت دارا بودن عناصر غذایی ضروری موجب افزایش تعداد برگ می‌گردد. افزایش تعداد برگ باعث افزایش میزان فتوسنتز در گیاه و در نتیجه افزایش عملکرد بیولوژیک می‌شود. این محققان دلیل این افزایش را افزایش نیتروژن و فسفر در خاک و گیاه با کاربرد لجن فاضلاب ذکر نموده‌اند.

بیشترین و کمترین افزایش در تعداد شاخه‌های جانبی به ترتیب به تیمارهای 150 تن در هکتار لجن بدون کود شیمیایی و شاهد اختصاص یافت. در سطح 150 تن در هکتار لجن فاضلاب افزایش کود شیمیایی باعث کاهش معنی‌دار تعداد شاخه‌های جانبی گردید. علت این کاهش می‌تواند مربوط به ایجاد سمیت یا برهمکنش عناصر با افزایش کود شیمیایی باشد.

همچنین بالاترین سطح برگ در تیمارهای 150 تن در هکتار لجن بدون کود شیمیایی و پایین‌ترین آن با تیمار شاهد به دست آمد. با توجه به نتایج جدول 4 اثر لجن فاضلاب و اثر متقابل کود و لجن بر سطح برگ معنی‌دار شده و دارای روند افزایشی با افزایش سطح لجن فاضلاب می‌باشد. میزان سطح برگ نسبت به ابتدای کشت در تیمار شاهد بیش از 2 برابر افزایش یافته است و این روند در تیمار 150 تن لجن فاضلاب بدون کود شیمیایی به حدود 4 برابر ابتدای کشت و حدود 2 برابر تیمار شاهد رسیده است. با افزایش سطح برگ که سطح فتوسنتز کننده گیاه می‌باشد، میزان فتوسنتز و در نتیجه غذا سازی در گیاه افزایش می‌یابد؛ بنابراین موجب افزایش عملکرد گیاه می‌گردد. دلیل اثر معنی‌دار لجن

گردیده. اندازه‌گیری میزان سدیم و پتاسیم محلول در عصاره حاصل از گل اشباع خاک به وسیله دستگاه فلیم‌فوتومتر انجام شد. تعیین عناصر کلسیم و منیزیم در عصاره گل اشباع و به روش تیتراسیون به وسیله EDTA انجام گردید (کلوت<sup>1</sup>، 1986). در بررسی ویژگی‌های شیمیایی لجن فاضلاب pH، هدایت الکتریکی، کربن آلی و عناصر غذایی مانند نیتروژن کل و فسفر قابل جذب تعیین گردید. نتایج تجزیه لجن فاضلاب در جدول شماره 2 آورده شده است.

### گیاه زیتون

برخی خصوصیات فیزیولوژیکی اندازه‌گیری شده در نهال زیتون قبل از اعمال تیمارها در جدول شماره 3 آورده شده است.

### نتایج و بحث

#### بررسی برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و عملکرد رویشی نهال زیتون

جدول تجزیه واریانس (4) نشان می‌دهد که اثر لجن فاضلاب بر افزایش طول گیاه، تعداد برگ‌های جدید، سطح برگ و افزایش تعداد شاخه‌های جانبی در سطح احتمال 1 درصد معنی‌دار می‌باشد. کود شیمیایی بر این پارامترها در سطح احتمال 5 درصد اثر معنی‌داری نداشته است. تعامل کود شیمیایی و لجن فاضلاب بر افزایش تعداد شاخه‌های جانبی و افزایش طول گیاه در سطح احتمال 1 درصد و بر سطح برگ در سطح 5 درصد اثر معنی‌دار نشان می‌دهد. اثر متقابل کود شیمیایی و لجن فاضلاب بر افزایش تعداد برگ جدید و تیمارها بر کلروفیل برگ معنی‌دار نشد. مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن (جدول 8 و 9) نیز نشان می‌دهد که با افزایش لجن فاضلاب به خاک نسبت به تیمار شاهد در همه تیمارهای لجن خورده تعداد برگ‌های جدید، افزایش ارتفاع گیاه، افزایش تعداد شاخه‌های جانبی، کلروفیل و

می‌باشد. سینگ و سینها (2002) افزایش طول گیاه را تابعی از غلظت عناصر غذایی دانستند و بیان کردند با افزایش لجن فاضلاب میزان عناصر قابل جذب در خاک و گیاه افزایش می‌یابد.

فاضلاب بر افزایش سطح برگ، عناصر غذایی موجود در لجن فاضلاب می‌باشد و لجن فاضلاب منبع بسیار مناسبی از عناصر غذایی مورد نیاز برای رشد گیاه می‌باشد.

بیشترین و کمترین افزایش در ارتفاع گیاه به تیمار 100 تن در هکتار لجن فاضلاب با 10 گرم کود شیمیایی و تیمار شاهد اختصاص یافت. ارتفاع گیاه یکی از شاخص‌های رشد است که نشان دهنده‌ی وضعیت کلی تغذیه و رشد گیاه می‌باشد. سطح 150 تن در هکتار لجن فاضلاب با سطح 100 تن لجن اختلاف معنی‌داری نشان نداد؛ بنابراین بهترین سطح مؤثر بر افزایش طول گیاه، سطح 100 تن در هکتار با 10 گرم کود شیمیایی

#### اثر تیمارها بر وزن تر و خشک اندام‌های گیاه

جدول تجزیه واریانس (5) نشان می‌دهد اثر لجن فاضلاب بر وزن تر و خشک ریشه در سطح احتمال 1 درصد معنی‌دار است. همچنین اثر لجن فاضلاب بر وزن خشک برگ و ساقه در سطح 5 درصد معنی‌دار و بر وزن تر برگ و ساقه غیر معنی‌دار شد.

جدول 1- برخی خصوصیات اندازه‌گیری شده در خاک قبل از انجام آزمایش

ازت کل (%)	CEC (cmol/Kg)	ماده آلی (%)	pH	EC (dS/m)	فسفر mg/Kg	منیزیم	کلسیم (meq/L)	پتاسیم	سدیم
0/07	14/96	1	7/62	7	6	18/24	28/56	1/06	40/58

جدول 2- برخی خصوصیات اندازه‌گیری شده در لجن فاضلاب

pH (1:1)	EC(1:1) (dS/m)	ازت کل (%)	فسفر (mg/Kg)	ماده آلی (%)	کلسیم (%)	پتاسیم (%)	سدیم (%)
7/5	11	1/0856	6660	24/5	0/4959	0/2933	0/2

جدول 3- میانگین برخی خصوصیات فیزیولوژیکی نهال زیتون قبل از آزمایش

وزن تر ریشه	وزن تر ساقه	وزن تر برگ	وزن خشک ریشه (g)	وزن خشک ساقه	وزن خشک برگ	ارتفاع گیاه (cm)	سطح برگ (cm <sup>2</sup> )	تعداد شاخه جانبی
25	22	12/7	7/7	13/1	6/4	81/25	282	5/59

جدول 4- میانگین مربعات خصوصیات فیزیولوژیکی و عملکرد رویشی گیاه زیتون

منبع تغییرات	درجه آزادی	وزن تر برگ	وزن تر ساقه	وزن تر ریشه	وزن خشک برگ	وزن خشک ساقه	وزن خشک ریشه
لجن فاضلاب	3	43/70 ns	22/4 ns	34/35 **	17/44 *	20/38 *	35/35 **
کود شیمیایی	2	5/99 ns	113/9 ns	2/33 ns	0/334 ns	0/304 ns	20/33 *
کود × لجن	6	22/22 ns	50/26 ns	20/58 ns	4/14 ns	6/441 ns	20/58 *
خطا	24	23/97	33/9	4/32	2/51	4/21	4/32
کل	36						

\*\* معنی‌دار در سطح احتمال 1 درصد، \* معنی‌دار در سطح احتمال 5 درصد، ns عدم معنی‌داری

زارع و همکاران: اثر لجن فاضلاب شهری تصفیه شده بر خصوصیات شیمیایی...

غلظت فلزات سنگین محلول و غلظت فلزات سنگین در بافت گیاه (کلاپ و همکاران، 1987). بنابراین می توان دلیل کاهش عملکرد در تیمار 150 تن در هکتار لجن فاضلاب با اعمال تیمار کود شیمیایی را سمیت یا برهمکنش عناصر دانست. احتمالاً مقادیر زیاد نیتروژن نیتراتی موجود در فاضلاب تصفیه شده شهری است که باعث افزایش عملکرد گیاهان می شود (کلاپ و همکاران، 1987). برخی محققان گزارش کرده اند غلظت عناصر پرمصرف در گیاهانی که توسط فاضلاب آبیاری شده اند، نسبت به گیاهانی که با آب معمولی آبیاری شده اند، بیشتر بوده است (کلاپ و همکاران، 1987؛ لوگان و هاریسون، 1995).

#### بررسی برخی خصوصیات شیمیایی خاک

جدول تجزیه واریانس (جدول 6) نشان می دهد که اثر لجن فاضلاب بر اسیدیته، شوری و درصد ماده آلی خاک در سطح احتمال 1 درصد معنی دار می باشد. کود شیمیایی بر هدایت الکتریکی خاک در سطح 1 درصد اثر معنی داری داشته است. اثر کود شیمیایی بر اسیدیته و درصد ماده آلی خاک معنی دار نشده است. تعامل کود شیمیایی و لجن فاضلاب بر خصوصیات شیمیایی خاک در سطح 5 درصد اثر معنی دار نشان نمی دهد.

کود شیمیایی و تعامل کود شیمیایی و لجن فاضلاب بر وزن خشک ریشه در سطح 5 درصد اثر معنی دار و بر سایر پارامترها اثر غیر معنی دار نشان داد. بیشترین وزن تر و خشک اندام های گیاه مربوط به تیمار 150 تن در هکتار لجن فاضلاب بدون کود شیمیایی و کمترین میزان به تیمار شاهد تعلق گرفت. در همه پارامترهای رویشی گیاه با افزایش میزان لجن فاضلاب کاربرد عملکرد افزایش می یابد.

وزن خشک برگ در تیمار شاهد نسبت به متوسط وزن خشک برگ قبل از شروع آزمایش 2 برابر و در تیمار 150 تن در هکتار لجن فاضلاب بدون کود شیمیایی (بیشترین میزان وزن خشک برگ) تا 3 برابر افزایش یافته است. دلیل این افزایش را می توان وجود مقادیر نسبتاً زیاد مواد آلی و عناصر غذایی ضروری گیاهان شامل نیتروژن، فسفر و پتاسیم در لجن فاضلاب دانست.

در سطح 150 تن در هکتار لجن فاضلاب، افزودن کود شیمیایی اثر کاهنده بر عملکرد رویشی نشان داد؛ بنابراین استفاده از کود شیمیایی اثر مثبتی بر وزن تر و خشک نشان نداد. به طور کلی سه عامل متفاوت برای نشان دادن سمیت استفاده می شود که این سه عامل عبارتند از: کاهش وزن خشک (عملکرد)، افزایش

جدول 5- میانگین مربعات وزن تر و خشک اندام های گیاه

منبع تغییرات	درجه آزادی	وزن تر برگ	وزن تر ساقه	وزن تر ریشه	وزن خشک برگ	وزن خشک ساقه	وزن خشک ریشه
لجن فاضلاب	3	43/7 ns	22/4 ns	34/35**	17/44*	20/38*	35/35**
کود شیمیایی	2	5/99 ns	113/9 ns	2/33 ns	0/334 ns	0/304 ns	20/33*
کود × لجن	6	22/22 ns	50/26 ns	20/58 ns	4/143 ns	6/441 ns	20/58*
خطا	24	23/97	33/9	4/315	2/505	4/206	4/315
کل	36						

\*\* معنی دار در سطح احتمال 1 درصد، \* معنی دار در سطح احتمال 5 درصد، ns عدم معنی داری



جدول 6- میانگین مربعات برخی خصوصیات شیمیایی خاک

درصد ماده آلی	EC <sub>e</sub>	pH	درجه آزادی	منبع تغییرات
2/884**	7/357**	0/156**	3	لجن فاضلاب
0/027 ns	0/713**	0/005 ns	2	کود شیمیایی
0/047 ns	0/087 ns	0/006 ns	6	لجن × کود
0/027	0/107	0/006	24	خطا
			36	کل

\*\* معنی دار در سطح احتمال 1 درصد، \* معنی دار در سطح احتمال 5 درصد، ns عدم معنی داری

### pH خاک

با افزایش سطح لجن از شاهد به 150 تن در هکتار از pH خاک کاسته می شود. با توجه به نتایج مقایسه میانگین ها به روش دانکن اختلاف بین سطح شاهد لجن فاضلاب کمترین میزان pH خاک مربوط به تیمار 150 تن در هکتار با 10 گرم کود شیمیایی و بیشترین میزان مربوط به تیمار شاهد می باشد.

میزان کاهش pH حدود 0/4 واحد می باشد. مقایسه میانگین ها به روش دانکن نشان می دهد که اختلاف میزان pH خاک بین سطح شاهد لجن فاضلاب با pH خاک در سطح 100 و 150 تن لجن فاضلاب در سطح 1 درصد و با 50 تن در هکتار در سطح 5 درصد معنی دار شده است.

دلیل کاهش pH خاک، تجزیه مواد آلی موجود در لجن می باشد که منجر به تولید اسید سیتریک، اسید مالیک و اسید پروپیونیک می شود و البته نیتروفیکاسیون، سولفوریکاسیون و اکسیداسیون مواد آلی نیز در این مورد مؤثر است (کلاپ و همکاران، 1987). جنکیس و همکاران (1994) دریافتند که هدایت الکتریکی و اسیدیته خاک پس از چهار سال آبیاری با فاضلاب کاهش یافت. برولیر و همکاران<sup>1</sup> (1992) نیز در تحقیقی که در ایالت واشنگتن آمریکا انجام دادند، بعد از استفاده 17 ساله از لجن فاضلاب شهری در جنگل، مشاهده

نمودند که pH خاک کاهش یافته که این امر محدود به افق A بوده است.

### EC<sub>e</sub> خاک

روند افزایشی نسبت به تیمار شاهد، در EC<sub>e</sub> با افزایش سطح لجن فاضلاب و همچنین کود شیمیایی نسبت به شاهد مشاهده گردید. بیشترین میزان EC<sub>e</sub> مربوط به تیمار 150 تن در هکتار لجن فاضلاب با 10 گرم کود شیمیایی و کمترین مقدار مربوط به تیمار شاهد می باشد. لجن فاضلاب به دلیل EC بالا دارای محدودیت هایی برای استفاده در کشاورزی می باشد. این EC ناشی از نمک های سدیم، پتاسیم، کلسیم و سایر املاح است. کود شیمیایی نیز دارای املاح محلول زیادی است و موجب افزایش EC<sub>e</sub> خاک می گردد.

در کل، شوری خاک در مقایسه با شروع آزمایش کاهش یافته که دلیل آن آبیاری با آب تصفیه و در حد رطوبت اشباع می باشد. بنابراین با وجود شوری بالای لجن فاضلاب، با مدیریت مناسب آبیاری و کنترل شرایط می توان از آثار سوء ناشی از افزایش شوری در خاک و ایجاد اختلال در رشد گیاه جلوگیری کرد.

### درصد ماده آلی خاک

با افزایش سطح لجن فاضلاب از شاهد به 150 تن در هکتار بر درصد ماده آلی خاک افزوده می شود. در سطح 0، 50 و 100 تن در هکتار لجن، افزایش میزان کود شیمیایی، اثر معنی داری بر ماده آلی ندارد؛ اما در سطح

1- Broilier et al.

است که منجر به تولید عوامل اسیدی می‌گردد (جنیکس و همکاران، 1994).

اولیویرا و ماتیاژو<sup>1</sup> (2002) نشان داده‌اند که کاربرد لجن فاضلاب، مقدار کربن آلی خاک را افزایش می‌دهد. به نظر می‌رسد که بخش کربن فعال موجود در کود لجن فاضلاب، پس از افزوده شدن به خاک تجزیه می‌شود لیکن بخشی از کربن موجود در این کود به ذخایر کربن خاک پیوسته و تجمع می‌یابد. آجوا و طباطبایی<sup>2</sup> (1994) گزارش کردند که بیش از 50 درصد کربن موجود در لجن فاضلاب در مدت 6 روز نخست انکوباسیون تجزیه می‌شود. لیکن پس از آن سرعت تجزیه کند می‌شود و در پایان بین 11 تا 40 درصد از کربن کود در خاک باقی مانده است.

#### بررسی عناصر غذایی پرمصرف، سدیم و کلسیم محلول در خاک

جدول تجزیه واریانس (جدول 7) نشان می‌دهد اثر لجن فاضلاب بر نیتروژن کل، فسفر قابل جذب، پتاسیم، سدیم و کلسیم محلول خاک در سطح احتمال 1 درصد معنی‌دار می‌باشد. کود شیمیایی بر میزان فسفر قابل جذب، پتاسیم و سدیم محلول خاک در سطح 1 درصد اثر معنی‌داری داشته است. اثر کود شیمیایی بر نیتروژن کل و کلسیم محلول خاک در سطح 5 درصد معنی‌دار گردید. تعامل کود شیمیایی و لجن فاضلاب بر نیتروژن کل و فسفر قابل جذب در سطح 1 درصد و بر سدیم، پتاسیم و کلسیم محلول در سطح 5 درصد اثر معنی‌دار نشان می‌دهد.

150 تن در هکتار لجن فاضلاب با افزایش 5 و 10 گرم کود شیمیایی ماده آلی نسبت به تیمار بدون کود شیمیایی به صورت معنی‌دار کاهش می‌یابد. با توجه به این که نسبت C:N در لجن فاضلاب 22 می‌باشد با افزایش کود شیمیایی مواد غذایی ریزجانداران برای تجزیه بقایای آلی افزایش می‌یابد و در نتیجه تجزیه مواد آلی و معدنی شدن آن‌ها افزایش و مواد آلی کاهش می‌یابد. بیشترین میزان ماده آلی مربوط به تیمار 150 تن در هکتار لجن فاضلاب بدون کود شیمیایی و کمترین میزان مربوط به تیمار شاهد می‌باشد.

بیش از 24 درصد ماده خشک لجن فاضلاب را کربن آلی تشکیل می‌دهد، که این مقدار با توجه به محدوده کربن آلی در لجن فاضلاب نقاط مختلف دنیا که بین 18 تا 39 درصد می‌باشد، رقم قابل توجهی است (افیونی و همکاران، 1377). لجن فاضلاب باعث افزایش ماده آلی خاک‌ها شد که این افزایش با مقدار لجن اضافه شده رابطه مستقیم دارد. مقدار ماده آلی خاک از 1 درصد در نمونه شاهد به 1/9 درصد در تیمار 150 تن در هکتار لجن فاضلاب (1/9 برابر) افزایش یافت.

کربن آلی خاک های مورد مطالعه تحت تأثیر تیمارهای کوددهی و لجن فاضلاب قرار گرفت. بین تیمار شاهد و کود شیمیایی هیچ تفاوت معنی داری مشاهده نشد. کودهای شیمیایی خود فاقد مواد آلی نسبتاً پایدار برای باقی ماندن در خاک می‌باشند؛ ولی این امکان وجود داشت که با افزایش زیست توده ریشه‌های گیاه در طول کشت، کربن آلی خاک اضافه شود؛ با این حال چنین افزایشی به وجود نیامده است. در تیمارهای لجن فاضلاب، با افزایش مقدار کود آلی در هر یک از سطوح، عموماً روند افزایش کربن آلی خاک مشاهده شد، به طوری که بیشترین سطح کربن آلی خاک در تیماری مشاهده گردید که 150 تن در هکتار لجن فاضلاب دریافت کرده بود (1/3 برابر بیشتر از تیمار شاهد). کاهش pH خاک در تیمارهای لجن خورده، احتمالاً به دلیل تجزیه مواد آلی موجود در لجن فاضلاب

1- Oliviera and Mattiazzo  
2- Ajwa and Tabatabai

جدول 7- میانگین مربعات برخی عناصر غذایی، سدیم و کلسیم خاک

منبع تغییرات	درجه آزادی	نیترژن کل (%)	فسفر قابل جذب	پتاسیم محلول	کلسیم محلول	سدیم محلول
لجن فاضلاب	3	0/005**	5525/28**	1/447**	238/232**	714/01**
کود شیمیایی	2	0/005*	325/91**	0/129**	31/11*	62/495**
لجن × کود	6	0/005**	100/48**	0/035*	1/312*	11/5*
خطا	24	0/005	6/133	0/01	4/202	3/339
کل	36					

\*\* معنی دار در سطح احتمال 1 درصد، \* معنی دار در سطح احتمال 5 درصد، ns عدم معنی داری

### نیترژن کل

با افزایش سطح لجن فاضلاب، نیترژن خاک روند افزایشی دارد. در سطح 50 تن در هکتار لجن فاضلاب با افزایش میزان کود شیمیایی از شاهد به 5 و 10 گرم کود شیمیایی در هر گلدان، افزایش نیترژن خاک معنی دار می‌باشد. مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن بیان می‌کند که تفاوت بین سطوح 0، 50 و 100 تن در هکتار لجن فاضلاب در سطح 1 درصد معنی دار و افزایشی می‌باشد و تفاوت بین سطح‌های 100 و 150 تن در هکتار لجن فاضلاب معنی دار نیست. تیمار کود شیمیایی هم در خاک باعث افزایش معنی دار درصد نیترژن خاک نسبت به شاهد شد. تاثیر کود شیمیایی در افزایش درصد نیترژن خاک‌ها، کمتر از تیمار 50 تن در هکتار لجن فاضلاب بود. فرم اولیه نیترژن غیر آلی لجن به صورت آمونیوم است که تقریباً 30 درصد نیترژن کل لجن را تشکیل می‌دهد و با افزایش لجن به خاک، نیترژن کل به طور معنی دار افزایش می‌یابد.

مقدار نیترژن کل لجن فاضلاب 1/08 درصد می‌باشد که با توجه به محدوده معرفی شده غلظت این عنصر در لجن فاضلاب نقاط مختلف دنیا که 0/5-11/6 درصد می‌باشد (افیونی و همکاران، 1377)، مقدار قابل قبولی است. اثر تیمار کود شیمیایی کمتر از لجن فاضلاب معنی دار شد؛ زیرا در زمان نمونه برداری 3 ماه از تاریخ آخرین کوددهی گذشته بود و نیترژن موجود

در کود شیمیایی قبلاً به نترات تبدیل و جذب گیاه شده و یا از طریق آبیاری، خاک را ترک کرده بود. کربس و همکاران<sup>1</sup> (1998) به اثر کاربرد لجن فاضلاب در افزایش نیترژن خاک اشاره نموده‌اند. افزودن لجن فاضلاب به خاک موجب افزایش معنی دار نیترژن کل آن شده و پتانسیل معدنی شدن نیترژن را نیز افزایش داده است. چنین افزایشی متناسب با سطح و دفعات کوددهی صورت گرفته است. نیترژن لجن فاضلاب منبع و دلیل افزایش نیترژن کل در خاک می‌باشد. تستر و همکاران<sup>2</sup> (1973) بیان کردند که در مراحل اعمال تیمار لجن فاضلاب، نیترژن و فسفر غیر متحرک می‌گردند؛ ولی بعد از 120 روز روند معدنی شدن نیترژن از سر گرفته می‌شود که نتیجه آن افزایش نیترژن و فسفر قابل جذب گیاه است.

### پتاسیم محلول خاک

اختلاف بین همه سطح‌های لجن فاضلاب در سطح 1 درصد معنی دار و افزایشی می‌باشد. در همه سطح‌های لجن فاضلاب، افزایش کود شیمیایی اثر معنی دار و افزایشی بر میزان پتاسیم محلول خاک نشان می‌دهد. به جز سطح 150 تن در هکتار که با افزایش کود شیمیایی نسبت به تیمار بدون کود کاهش پتاسیم محلول اتفاق

1 - Krebs et al.

2- Tester et al.

زارع و همکاران: اثر لجن فاضلاب شهری تصفیه شده بر خصوصیات شیمیایی...

### سدیم محلول در خاک

مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار و افزایشی بین سطح شاهد لجن فاضلاب با 100 و 150 تن در هکتار می‌باشد. همچنین طبق جدول مقایسه میانگین‌ها اختلاف بین سطح شاهد کود شیمیایی و همه سطح‌های کود شیمیایی معنی‌دار و افزایشی است. دلیل این مقادیر پایین سدیم محلول می‌تواند به آبیاری با آب تصفیه با هدایت الکتریکی کمتر از 0/3 dS/m برگردد که موجب کاهش شوری خاک حتی به میزانی کمتر از قبل از کشت گیاه و افزودن لجن فاضلاب شده است. این میزان از سدیم محلول در خاک هیچ اثر سوئی بر خاک و گیاه نخواهد داشت (افیونی و همکاران، 1377).

### کلسیم محلول در خاک

لجن فاضلاب با حدود 0/5 درصد کلسیم منبع با ارزشی از کلسیم می‌باشد که موجب افزایش عملکرد و بهبود کیفیت میوه در درخت می‌گردد (افیونی و همکاران، 1377). میزان کلسیم محلول خاک به تناسب افزایش سطح لجن فاضلاب افزایش می‌یابد.

بیشترین میزان کلسیم محلول خاک مربوط به سطح 150 تن لجن فاضلاب با 10 گرم کود شیمیایی و کمترین در تیمار شاهد است. مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن اختلاف تیمار شاهد را با همه تیمارهای لجن فاضلاب معنی‌دار نشان می‌دهد. تیمار 150 تن در هکتار لجن فاضلاب دارای بیشترین اختلاف با سایر تیمارها در سطح 1 درصد می‌باشد. اختلاف سطح 5 گرم کود شیمیایی با 10 گرم کود معنی‌دار نشد.

افتاد. مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن (جدول‌های 8 و 9) نیز نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح 1 درصد سطح شاهد کود شیمیایی و سطوح 5 و 10 گرم در گلدان و عدم اختلاف معنی‌دار سطح 5 و 10 گرم می‌باشد.

به طور کلی تاثیر لجن فاضلاب بر مقدار پتاسیم خاک‌ها نسبت به فسفر و نیتروژن کمتر بود، که می‌توان آن را به مقدار کم پتاسیم موجود در لجن ارتباط داد. تستر و همکاران (1973) بیان کردند که دلیل این پدیده می‌تواند مربوط به حلالیت بالای املاح پتاسیم باشد؛ به این ترتیب که پس از جدا شدن لجن از فاضلاب، پتاسیم به طور غالب به صورت محلول در پساب باقی می‌ماند و بخش لجن از پتاسیم فقیر خواهد شد. آن‌ها بیان کردند پتاسیمی که از طریق لجن به خاک اضافه می‌شود، اغلب برای نیاز گیاه کافی نیست و برای رفع این نیاز علاوه بر مصرف لجن فاضلاب باید از منابع شیمیایی نیز استفاده شود.

میزان پتاسیم لجن فاضلاب مورد استفاده در این پژوهش 0/3 درصد (جدول 2) و کمتر از محدوده پتاسیم معرفی شده لجن فاضلاب نقاط مختلف جهان (2/64-0/5%) می‌باشد (افیونی و همکاران، 1377).

### فسفر قابل جذب در خاک

بیشترین میزان فسفر مربوط به تیمار 150 تن در هکتار لجن فاضلاب با 10 گرم کود شیمیایی (73/8 mg/Kg) و 12/5 برابر بیشتر از کمترین میزان فسفر خاک در تیمار شاهد (6/07 mg/Kg) می‌باشد. میزان فسفر لجن فاضلاب 0/666 درصد می‌باشد که این مقدار در محدوده بیان شده برای فسفر لجن فاضلاب نواحی مختلف دنیا می‌باشد (3/14-0/5%)؛ بنابراین دلیل اثر معنی‌دار لجن بر فسفر قابل جذب خاک به دلیل محتوای بالای فسفر می‌باشد (افیونی و همکاران، 1377).

جدول 8- مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن بین سطوح مختلف کود شیمیایی

Ca	Na	K	P	N	EC	OM	pH	وزن خشک ریشه	وزن تر ریشه	وزن خشک ساقه	وزن تر ساقه	وزن خشک برگ	وزن تر برگ	افزایش شاخه‌های جانبی	افزایش ارتفاع ساقه	افزایش تعداد برگ	سطح برگ	کلروفیل	بدون کود
10 <sup>b</sup>	15 <sup>c</sup>	1 <sup>b</sup>	43 <sup>c</sup>	0/095 <sup>b</sup>	3/2 <sup>b</sup>	1/1 <sup>a</sup>	7/84 <sup>a</sup>	12/7 <sup>a</sup>	27/7 <sup>a</sup>	18/8 <sup>a</sup>	32 <sup>b</sup>	14/1 <sup>a</sup>	29/3 <sup>a</sup>	13/6 <sup>a</sup>	8/3 <sup>a</sup>	175 <sup>a</sup>	79914 <sup>a</sup>	55/5 <sup>b</sup>	بدون کود
12 <sup>a</sup>	17 <sup>b</sup>	1/2 <sup>a</sup>	49 <sup>b</sup>	0/097 <sup>a</sup>	3/6 <sup>a</sup>	1/1 <sup>a</sup>	7/83 <sup>a</sup>	13/1 <sup>a</sup>	28/3 <sup>a</sup>	18/9 <sup>a</sup>	33/1 <sup>ab</sup>	14/1 <sup>a</sup>	29/6 <sup>a</sup>	14/3 <sup>a</sup>	8/5 <sup>a</sup>	189 <sup>a</sup>	81997 <sup>a</sup>	56/8 <sup>ab</sup>	5 گرم کود
13 <sup>a</sup>	20 <sup>a</sup>	1/2 <sup>a</sup>	57 <sup>a</sup>	0/1 <sup>a</sup>	3/7 <sup>a</sup>	1/2 <sup>a</sup>	7/81 <sup>a</sup>	13/5 <sup>a</sup>	29/9 <sup>a</sup>	19/1 <sup>a</sup>	37/8 <sup>a</sup>	14/4 <sup>a</sup>	30/6 <sup>a</sup>	14/3 <sup>a</sup>	9/08 <sup>a</sup>	207 <sup>a</sup>	84214 <sup>a</sup>	59/9 <sup>a</sup>	10 گرم کود

جدول 9- مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن بین سطوح مختلف لجن فاضلاب

Ca	Na	K	P	N	EC	OM	pH	وزن خشک ریشه	وزن تر ریشه	وزن خشک ساقه	وزن تر ساقه	وزن خشک برگ	وزن تر برگ	افزایش شاخه‌های جانبی	افزایش ارتفاع ساقه	افزایش تعداد برگ	سطح برگ	کلروفیل	بدون لجن
5/9 <sup>d</sup>	17 <sup>d</sup>	17 <sup>d</sup>	18/8 <sup>d</sup>	107 <sup>c</sup>	2/4 <sup>d</sup>	0/5 <sup>d</sup>	8 <sup>a</sup>	11/3 <sup>c</sup>	21/3 <sup>b</sup>	17/1 <sup>c</sup>	32/9 <sup>a</sup>	12/2 <sup>b</sup>	27/6 <sup>a</sup>	11/2 <sup>c</sup>	6/6 <sup>c</sup>	150 <sup>c</sup>	69466 <sup>b</sup>	60/2 <sup>a</sup>	بدون لجن
9/5 <sup>c</sup>	1 <sup>c</sup>	1/07 <sup>c</sup>	38/9 <sup>c</sup>	109 <sup>b</sup>	3/2 <sup>c</sup>	1 <sup>c</sup>	7/9 <sup>b</sup>	11/9 <sup>bc</sup>	25/3 <sup>b</sup>	18/3 <sup>bc</sup>	33 <sup>a</sup>	14/3 <sup>a</sup>	28/6 <sup>a</sup>	13/7 <sup>b</sup>	9/1 <sup>b</sup>	180 <sup>b</sup>	73270 <sup>b</sup>	59 <sup>ab</sup>	50 تن در هکتار
14 <sup>b</sup>	1/3 <sup>b</sup>	1/3 <sup>b</sup>	65/4 <sup>b</sup>	11 <sup>a</sup>	3/7 <sup>b</sup>	1/5 <sup>b</sup>	7/75 <sup>c</sup>	13/6 <sup>ab</sup>	32/9 <sup>a</sup>	19/6 <sup>ab</sup>	35/5 <sup>a</sup>	15/1 <sup>a</sup>	30/5 <sup>a</sup>	15/5 <sup>a</sup>	10/2 <sup>a</sup>	203 <sup>ab</sup>	90992 <sup>a</sup>	55/8 <sup>ab</sup>	100 تن در هکتار
17/6 <sup>a</sup>	1/6 <sup>a</sup>	1/6 <sup>a</sup>	72/6 <sup>a</sup>	11 <sup>a</sup>	4/6 <sup>a</sup>	1/8 <sup>a</sup>	7/7 <sup>c</sup>	15/6 <sup>a</sup>	35 <sup>a</sup>	20/6 <sup>a</sup>	35/9 <sup>a</sup>	15/2 <sup>a</sup>	32/6 <sup>a</sup>	15/8 <sup>a</sup>	8/6 <sup>b</sup>	228 <sup>a</sup>	94457 <sup>a</sup>	54/6 <sup>b</sup>	150 تن در هکتار

حروف کوچک غیر مشابه روی میانگین‌ها در هر ستون، نشانه اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

زارع و همکاران: اثر لجن فاضلاب شهری تصفیه شده بر خصوصیات شیمیایی...

### نتیجه گیری

حلالیت عناصر و در نتیجه برهم خوردن تعادل تغذیه‌ای گیاه می‌گردد. تیمار کود شیمیایی در همه خاک‌ها نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار نشان داد؛ ولی این افزایش کمتر از تیمار 50 تن در هکتار لجن فاضلاب بود. تیمار 150 تن در هکتار لجن فاضلاب بدون کود شیمیایی دارای بهترین عملکرد، بیشترین عناصر غذایی و بهترین شرایط از نظر خصوصیات خاک است و بنابراین تیمار مذکور را می‌توان به منظور افزایش عملکرد رویشی نهال زیتون، البته با در نظر گرفتن شرایط خاک و و نیاز گیاه، پیشنهاد کرد.

از سوی دیگر، کاربرد لجن فاضلاب می‌تواند باعث افزایش هدایت الکتریکی خاک شود و استفاده از آن در مقادیر زیاد، ممکن است در خاک‌های با شوری بالا مشکل ساز باشد؛ برای جلوگیری از اثر سوء لجن فاضلاب بر شوری خاک مدیریت مناسب آب آبیاری، مانند آبیاری با آب شیرین یا آبخوبی با آب نیمه شور توصیه می‌گردد.

این تحقیق نشان داد که لجن فاضلاب شهری تصفیه شده غرب اهواز دارای پتانسیل کودی قابل توجهی می‌باشد. کاربرد این ماده علاوه بر افزودن غلظت عناصر غذایی پرمصرف نیتروژن و فسفر در خاک، باعث افزایش ماده آلی گردید که در حاصل خیزی آن نقش داشته و نتیجه آن، افزایش عملکرد رویشی زیتون بود. عملکرد وزن خشک اندام‌های گیاه در خاک متناسب با افزایش سطح لجن افزایش نشان داد. خصوصیات فیزیولوژیکی نهال زیتون با افزایش تیمار لجن فاضلاب و کود شیمیایی بهبود یافت. دلیل اصلی این پدیده را می‌توان وجود مقادیر نسبتاً زیاد مواد آلی و عناصر غذایی ضروری گیاهان شامل نیتروژن، فسفر در لجن فاضلاب دانست. دلیل کاهش عملکرد وزن خشک اندام هوایی در تیمار 150 تن در هکتار لجن فاضلاب دارای تیمارهای کود شیمیایی، احتمالاً غلظت زیاد برخی عناصر غذایی قابل جذب توسط گیاه در این تیمار و همچنین کاهش اسیدیته خاک که منجر به افزایش

### منابع

1. آقایی فروشانی، م. 1384. اثر کاربرد لجن فاضلاب تصفیه شده روی خصوصیات خاک، جذب عناصر سنگین و عملکرد گیاه جو. پایان نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشگاه شهید چمران اهواز.
2. افیونی، م.، رضایی نژاد، ی و خیام باشی، ب. 1377. اثر لجن فاضلاب بر عملکرد و جذب فلزات سنگین به وسیله کاهو و اسفناج. علوم کشاورزی و منابع طبیعی 2 (1): 19-30.
3. دانش، ش. 1370. اثر فاضلاب‌های تصفیه شده خانگی بر عملکرد و کیفیت محصول چغندر قند و چغندر علوفه‌ای. گزارش نهایی طرح پژوهشی، معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد، شماره 68.
4. سالک گیلانی، س.، نوربخش، ف.، افیونی، م. و رضایی نژاد، ی. 1383. تاثیر افزودن لجن فاضلاب بر شدت نیتریفیکاسیون و جذب نیتروژن به وسیله گیاه ذرت. مجله آب و فاضلاب، 15 (52): 20-30.
5. Antolin, M.C., Pascolal, I., Garcia, C. 2005. Growth, yield and solute content of barely in soils treated with sewage sludge under semiarid Mediterranean condition. Field Crops Research, 94: 224-237.
6. Ajwa, H.A., and Tabatabai, M.A. 1994. Decomposition of different organic materials in soils. Biology and Fertility of Soils, 18: 175-182.

7. Brollier, S., Smith, S.R., Henry, C.L., and Harrison, R.B. 1992. Change in Soil Chemistry, Seventeen Years of Municipal Sludge Application in Forests, *Agronomy Abstracts*, p. 33.
8. Clapp, C.E., Palazzo, A.J., Larson, W.E., Marten, G.C., and Lindem, D.R. 1987. Uptake of nutrients by plants irrigated with municipal wastewater effluent. In *State of Knowledge in Land Treatment of Wastewater*. Army Corps of Engineers, Hanover, NH, Germany, pp: 395-404.
9. Genkins, C.R., Papdopoulos, I., and Stylianou, Y. 1994. Pathogens and waste water use for irrigation in Cyprus. *Proceedings of Land and Water Resources Management in Mediterranean Region*, pp.979-989. Bari, Italy, September 4-8.
10. Kelling, K.A., Peterson, A.E., and Walsh, L.M. 1977. Field study of the agricultural use of sewage sludge: I. Effect on crop yield and uptake of N and P. *Journal Environmental Quality*, 6: 339-343.
11. Klute, A., 1986. *Method of Soil Analysis: Physical and Chemical Methods*. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI, USA. pp: 432-449.
12. Krebs, R, Gupta, S.K., Furrer, G., and Sehulin, R. 1998. Solubility and plant uptake of metals with and without limiting of sludge-amended soil. *Journal of Environmental Quality*, 27: 18-23.
13. Lagerwerff, J.V., Milbeg, R.P., Brower, D.L. 1997. Effect of incubation and liming on yield and heavy metal uptake by rye from sewage sludge treated soil. *Journal of Environment and Quality*, 6: 427-431.
14. Logan, T.J., and Harrison, B.J. 1995. Physical characteristics of alkaline stailized sewage sludge and their effect on soil physical properties. *Journal of Environment Quality*, 24: 153-164.
15. Mashhady, A.S. 1984. Heavy metals extractable from a calcareous soil treated with sewage sludge. *Journal of Environmental Pollution*, 8: 51-62.
16. Oliviera, F.C., and Mattiazzo, M.E. 2002. Organic Carbon, Electrical Conductivity, pH and CEC Changes in a Dystrophic Yellow Latisol. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, 2, 505-519.
17. Paliwil, K.S., Karunaichamy, T.K., Ananthavalli, M. 1998. Effect of sewage water irrigation on growth performance, biomass and nutrient accumulation in hard *wikia binata* under nursery conditions. *Bioresource Technology*, 66: 101-112.
18. Singh, M.K., Sinha, S.S. 2002. Effect of untreated and treated sewage sludge on seed germination and seedling growth of *Vicia Faba*. *Ind. Environ. Protection* 22(4): 426-430
19. Tester, C.F., Sikora, L.J., Taylor, J.M., and Parr, J.F. 1973. Decomposition of sewage sludge compost in soil: 3. carbon, nitrogen, phosphorous transformation in different size fractions. *Journal of Environmental Quality*, 8, 79-82.